

# Estudi de la ventilació a l'Escola Montseny

## Introducció

En aquest informe presentarem els resultats de les mesures dels nivells de CO<sub>2</sub> en dues aules diferents de l'escola i en condicions de ventilació diferents. L'anàlisi d'aquests resultats permetrà tenir una idea més clara sobre la freqüència necessària d'obertura de finestres en cas de condicions meteorològiques adverses (pluja i/o fred) i presentarà una sèrie de recomanacions genèriques.

## Metodologia

Totes les mesures s'han realitzat amb un sensor de CO<sub>2</sub> de la marca Aranet [1] registrant els nivells de CO<sub>2</sub>, temperatura, pressió i humitat relativa en intervals d'un minut, el matí del dia 29 d'Octubre de 2020. Primer de tot es va mesurar el nivell de CO<sub>2</sub> de fons al voltant de l'escola per tenir-lo de referència. Es van fer mesures en dues aules diferents, una de cicle inicial (CI2) i una de cicle superior (5è). En el primer cas es van realitzar les mesures en les condicions habituals de funcionament (finestres obertes i porta tancada) mentre que en el cas de cicle superior es van realitzar tres mesures diferents:

- amb finestres i porta obertes;
- amb finestres tancades;
- amb finestres tancades però sense alumnes.

En totes les mesures excepte la darrera s'ha comparat el nivell de CO<sub>2</sub> amb la concentració estable de CO<sub>2</sub> en les condicions de treball calculada de la següent manera [2]:

$$CO_{2,e} = \frac{\text{generació de CO}_2 + \text{cabal exterior requerit} \cdot CO_{2,fons} \cdot 1 \times 10^{-6}}{\text{cabal exterior requerit} \cdot 1 \times 10^{-6}}$$

La generació de CO<sub>2</sub> es calcularà en cada cas segons el nombre d'adults, nens i nenes presents a l'aula i el seu nivell d'activitat [2]. El cabal exterior requerit l'escollirem per garantir una bona renovació de l'aire, estant els nivells recomanables situats entre 3 i 6 ACH<sup>1</sup>. El nivell de CO<sub>2</sub>, *fons* serà el mesurat al voltant de l'escola. Per calcular el cabal requerit només haurem de multiplicar l'ACH requerit pel volum de l'aula que estiguem mesurant. En el cas en què tenim l'aula buida just després de la seva activitat, mesurarem l'ACH segons [2]:

$$ACH = \frac{-\ln\left(\frac{C_{final} - C_{exterior}}{C_{inicial} - C_{exterior}}\right)}{t_{final} - t_{inicial}}$$

On  $C_{inicial}$  és el nivell de CO<sub>2</sub> a l'inici de la mesura ( $t_{inicial}$ ),  $C_{exterior}$  és el nivell de CO<sub>2</sub> de fons i la  $C_{final}$  és el 37% de l'excés de CO<sub>2</sub> inicial, mesurat a  $t_{final}$ .

---

<sup>1</sup>ACH: air changes per hour. Si un espai té 1 ACH significa que en una hora entra en la sala un volum d'aire exterior igual al volum de la sala [2]

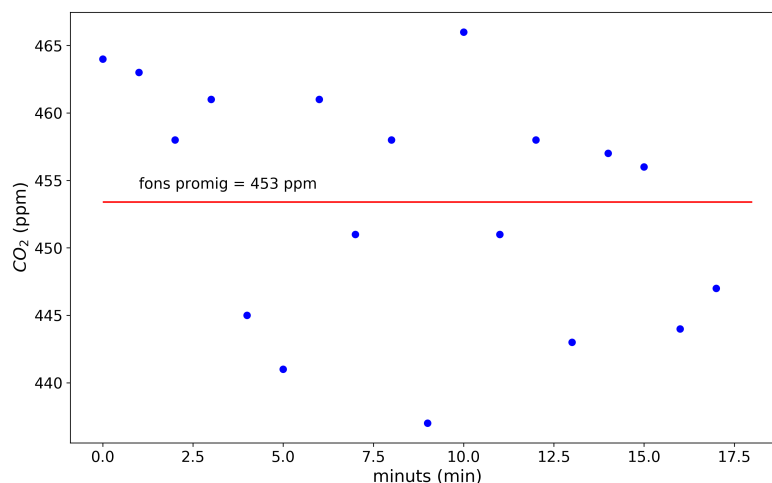


Figure 1: Nivells de CO<sub>2</sub> de fons al voltant de l'escola (punts blaus) i nivell mitjà (línia vermella).

## Resultats i discussió

### Nivell de fons

Les mesures del nivell de fons es van realitzar entre les 9 : 45 i les 10 : 05 en tres zones diferents: darrere de l'escola en el camí que porta cap al Turull, a la porta de l'escola situada en el camí del Parc Güell i a dins de l'escola, a les escales davant de consergeria. L'evolució dels nivells en aquest interval de temps es pot observar en la figura 1. S'ha decidit prendre com a referència del nivell exterior de CO<sub>2</sub> o nivell de fons al valor mitjà de totes les mesures realitzades en aquest interval. Aquest valor es pot veure també en la figura 1 i té un valor de:

$$CO_{2,fons} = C_{exterior} = 453 \text{ ppm}$$

S'ha de tenir en compte que aquest nivell de fons pot variar relativament bastant d'un dia a un altre o fins i tot en l'interval d'unes poques hores, però es pot considerar que els valors habituals en una zona urbana es troben entre 420 i 480 ppm.

### Aula de cycle inicial

En l'aula de cycle inicial on vam fer les mesures (antiga classe de primer) hi havia una persona adulta, 7 nenes i 6 nens duent a terme una activitat de lectura i escriptura asseguts. Les finestres estaven obertes de manera que hi havia ventilació creuada (entrava per una paret i sortia per la paret situada perpen-

dicularment a la primera) i la porta de l'aula estava tancada. Segons l'activitat realitzada (1.4 met) la generació de CO<sub>2</sub> té els següents valors per persona:

- professora: 0.0061 l/s
- nenes: 0.0032 l/s
- nens: 0.0035 l/s

Per tant, la generació total de CO<sub>2</sub> és igual a 2.970 lpm (hem passat les unitats de litres per segons a litres per persona i minut). Els càlculs inicials els vam fer considerant una altura de l'aula de 2.5 m. D'aquesta manera, si tinguéssim un ACH de 6 que és el que es considera ideal, el nivell de CO<sub>2</sub> estable seria:

$$\text{CO}_{2,e} = 580 \text{ ppm}$$

En la figura 2 es poden veure els nivells mesurats durant 30 min. En tot moment els valors de CO<sub>2</sub> es troben per sota del valor de CO<sub>2,e</sub> corresponent tant a un ACH de 6 com a un de 8 que seria la mínima ventilació mesurada. És a dir, en tot moment el ritme de renovació a l'aula de primer és sempre superior a 8 i per tant hi ha molta més renovació que la considerada ideal. De fet, no està molt allunyada del nivell de fons. Així mateix, es pot observar com els nivells retornen ràpidament a valors de fons un cop s'ha buidat l'aula.

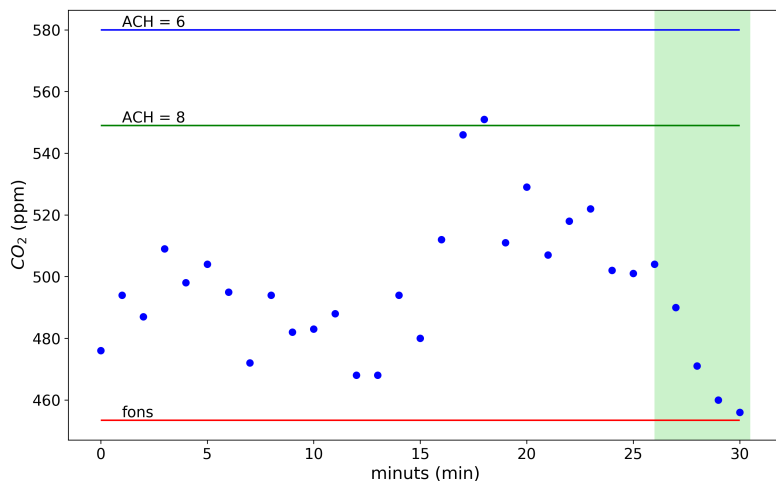


Figure 2: Nivells de CO<sub>2</sub> mesurats a l'aula de primer (punts blaus) assumint una alçada de 2.5 m. Es mostren també els valors corresponents a ACH de 6 i de 8. La zona ombrejada correspon al moment en què l'aula es buida.

És important calcular l'alçada adequadament, ja que el valor estable de CO<sub>2</sub> depèn directament del volum. Així, si consideréssim que l'alçada de l'aula és de 3 m, el valor del diòxid de carboni estable per un ACH de 6 seria:

$$\text{CO}_{2,e} = 559 \text{ ppm}$$

En la figura 3 podem veure els mateixos valors experimentals mesurats en l'aula de primer però ara amb les referències dels ACH calculades amb una alçada de 3 m. Tot i que continuem observant que el ritme de renovació de l'aire és molt bo, la situació és lleugerament pitjor que en el cas anterior.

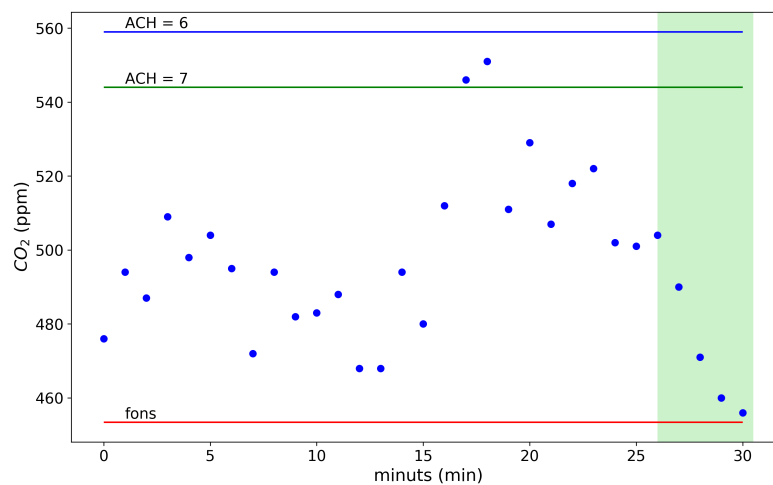


Figure 3: Nivells de CO<sub>2</sub> mesurats a l'aula de primer (punts blaus) assumint una alçada de 3 m. Es mostren també els valors corresponents a ACH de 6 i de 7. La zona ombrejada correspon al moment en què l'aula es buida.

### Aula de cicle superior

En l'aula de cicle superior on vam fer les mesures (classe de cinquè) hi havia 2 persones adultes i 19 nens i nenes. Al no comptar el nombre de nens i nenes, per fer els càlculs hem considerat que hi havia 11 nens i 8 nenes. Inicialment les finestres estaven obertes (ventilació creuada) i la porta tancada. L'activitat a la classe no era sedentària, ja que els nens i les nenes es movien per l'aula i anaven entrant i sortint per netejar els pinzells al lavabo. D'aquesta manera considerem una activitat més intensa que en el cas de l'aula de cicle inicial, concretament de 1.6 met, de manera que la generació de CO<sub>2</sub> és ara:

- professora: 0.0061 l/s

- nenes: 0.0032 l/s
- nens: 0.0040 l/s

Per tant, la generació total de CO<sub>2</sub> és de 5.148 lpm. Fent els càlculs amb una alçada de 2.5 m, podem trobar els valors de diòxid de carboni estable per valors de l'ACH igual a 6 (l'ideal) i igual a 3 (el mínim):

- CO<sub>2,e</sub> (ACH = 6) = 698 ppm
- CO<sub>2,e</sub> (ACH = 3) = 943 ppm

En la figura 4 podem observar aquests nivells representats conjuntament amb les mesures experimentals preses a l'aula en diferents condicions.

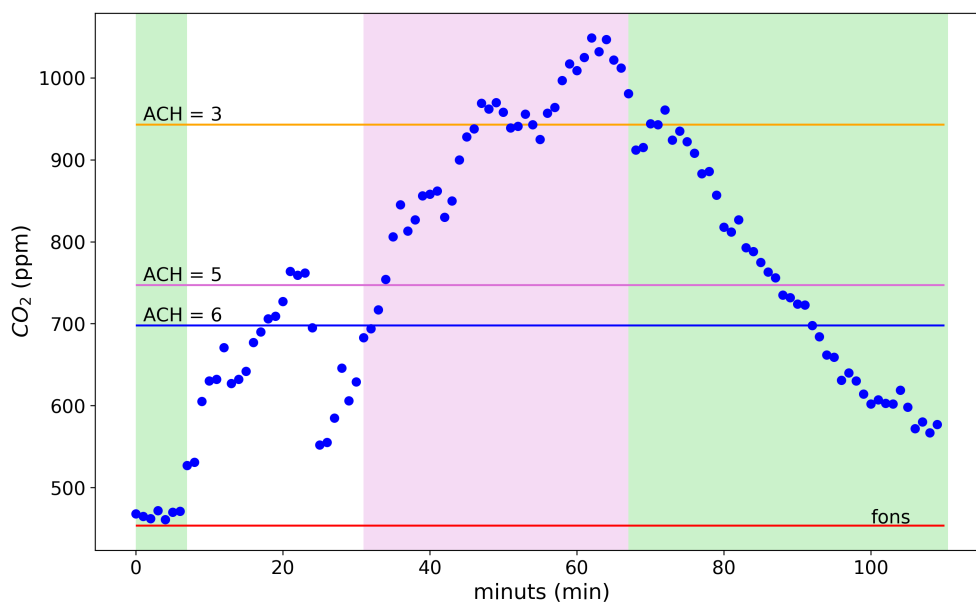


Figure 4: Nivells de CO<sub>2</sub> mesurats a l'aula de cinquè (punts blaus) assumint una alçada de 2.5 m. Es mostren també els valors corresponents a ACH de 6, 5 i de 3. La zona ombrejada de verd correspon al moment en què l'aula és buida, mentre que l'ombrejada en violeta correspon al moment en què les finestres estan tancades.

A l'inici de la mesura, mentre l'aula encara està buida, els nivells són pràcticament els del fons. A mesura que entren els alumnes, amb les finestres obertes però la porta tancada (regió blanca de la figura),

els nivells de CO<sub>2</sub> augmenten i, tot i que hi ha una forta variabilitat, ens movem sempre en ritmes de renovació de l'aire iguals o superior a 5, és a dir condicions entre excel·lents i ideals. Transcorreguda mitja hora es procedeix a tancar les finestres per avaluar el temps en arribar a nivells límits de CO<sub>2</sub>. En la zona ombrejada de violeta de la figura es pot veure com els nivells augmenten de forma constant, tot i que estabilitzant-se durant certs intervals. Es pot veure que s'arriba als nivells de CO<sub>2</sub> corresponents a l'ACH de 3 en uns 18 min, tot i que es mantenen aquests nivells fins al cap d'uns 27 min. Aquesta estabilització podria ser deguda al fet de tenir la porta oberta i a què els nens i les nenes anessin entrant i sortint de l'aula per netejar els pinzells. A partir d'aquests primers resultats es podrien treure dues conclusions:

1. amb les finestres obertes, el ritme de renovació de l'aire és molt bo;
2. amb les finestres tancades i la porta oberta, es triga aproximadament 20 min a arribar a nivells de CO<sub>2</sub> corresponents a la mínima ventilació requerida.

Un cop la classe està buida es pot aprofitar per mesurar directament l'ACH amb les finestres i les portes obertes (zona ombrejada verda del final de la figura 4). Per fer-ho s'aplica l'expressió descrita anteriorment en què es necessita la concentració de gas en el moment d'iniciar l'experiment amb l'aula buida i el corresponent temps i el moment en què la concentració és un 37% de la concentració inicial (per sobre del nivell del fons). Depenent del moment exacte que prenem com a temps inicial, els càlculs ens donen un valor de l'ACH entre 2 i 2.5. Aquests resultats són consistents amb el fet que en el moment de buidar-se l'aula els nivells de CO<sub>2</sub> es trobaven per sobre del valor estable per un ACH de 3, fet que significa que l'ACH real ha de ser menor que aquest valor. En qualsevol cas, aquest càlcul és aproximat, ja que per aplicar aquest mètode es recomana que les concentracions inicials de CO<sub>2</sub> estiguin al voltant de 2000 ppm, el doble del que teníem en el nostre cas. Per tant, la conclusió que s'hauria d'extreure d'aquesta experiència és que el nivell de renovació de l'aire de l'aula amb les finestres tancades i la porta oberta no és suficient per arribar als mínims recomanats.

En aquest cas també és bo fer l'exercici de saber en quina situació ens trobaríem si haguéssim considerat una alçada de l'aula de 3 m. En aquest cas, els valors estables de la concentració de diòxid de carboni serien:

- CO<sub>2,e</sub> (ACH = 6) = 657 ppm
- CO<sub>2,e</sub> (ACH = 3) = 861 ppm

En la figura 5 podem observar aquests nivells en relació amb les mesures reals. Podem veure que en les condicions de finestres obertes la situació segueix sent bona amb nivells de l'ACH iguals o superiors a 4, per tant encara situant-nos en un règim entre bo i ideal. Però en tancar les finestres s'arriba a nivells d'un ACH de 3 en uns 13 min i estem uns 20 min en nivells d'ACH entre 2 i 3. En qualsevol cas no s'arriba a nivells de CO<sub>2</sub> que es considera que ja poden començar a afectar a la salut (per sobre de 1200 ppm).

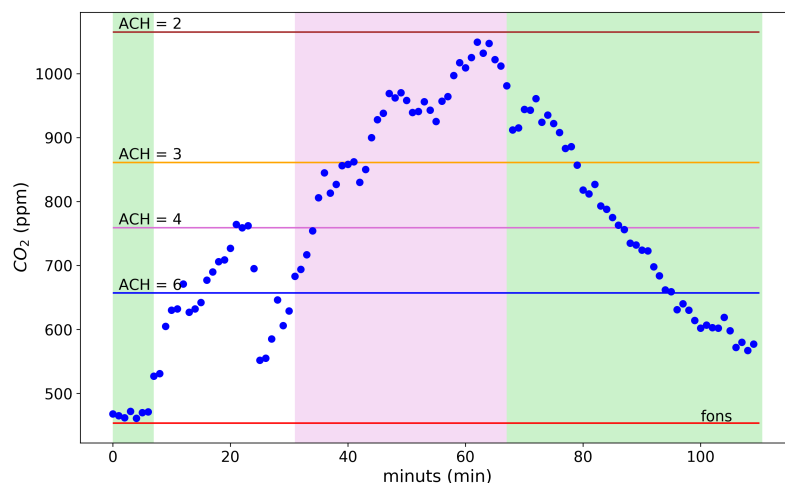


Figure 5: Nivells de  $\text{CO}_2$  mesurats a l'aula de cinquè (punts blaus) assumint una alçada de 3 m. Es mostren també els valors corresponents a ACH de 6, 5 i de 3. La zona ombrada de verd correspon al moment en què l'aula és buida, mentre que l'ombrada en violeta correspon al moment en què les finestres estan tancades.

En la realitat, el volum efectiu de l'aula estarà situat en algun valor intermedi de considerar una alçada de 2.5 i de 3 m, ja que el volum ocupat pel mobiliari no s'ha tingut en compte. També és rellevant la posició del sensor, ja que en l'experiment actual estava situat prop d'una cantonada relativament allunyada de les finestres i prop de la zona on estaven les dues professores.

Finalment, podem comentar que els nivells d'humitat i pressió han sigut pràcticament constants al llarg de totes les mesures i només s'ha pogut observar petites variacions en la temperatura, especialment lleugers augments de la mateixa quan les finestres estaven tancades. Els resultats globals durant tot el matí es poden observar en la figura 6 (que inclou també els nivells de  $\text{CO}_2$ ).

## Conclusions

Els resultats de les mesures dels nivells de  $\text{CO}_2$  realitzats a l'Escola Montseny permeten constatar que els nivells de ventilació natural aconseguits mantenint les finestres de les aules obertes són ideals i s'aconsegueix amb escreix superar els nivells recomanats en la guia elaborada pel CSIC [2]. Això aplica tant a l'aula de cicle inicial com a la de cicle superior, tot i que en aquest darrer cas d'una manera més ajustada.

Mesures aproximades del valor de l'ACH en l'aula de cinquè, sense alumnes i després de l'activitat normal, donen valors d'entre 2 i 2.5 que són considerats baixos i que requeririen l'ajuda de sistemes de ventilació forçada o de purificació. És de suposar que la situació en la resta de les aules és similar.

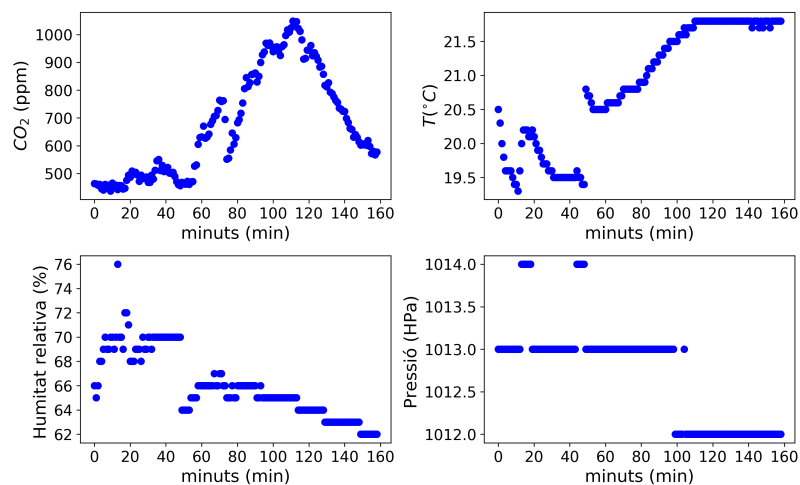


Figure 6: Nivells de  $\text{CO}_2$ , temperatura, humitat relativa i pressió mesurats durant tot el matí, tant al carrer com a les aules de primer i cinquè.

Les mesures efectuades per determinar el temps màxim en què es pot estar a l'aula amb finestres tancades és d'entre 13 i 20 minuts, depenent de l'alçada real de l'aula. Per tant, en condicions meteorològiques adverses no s'hauria d'estar més de 20 minuts amb les finestres tancades o, dit d'una altra manera, s'hauria d'assegurar que cada 20 minuts com a molt, s'obrin les finestres durant un període de 5 minuts.

En casos de molt fred o pluja s'hauria de considerar treballar sempre amb la porta oberta i si en el mateix replà hi ha una altra aula que estigui buida, que aquesta tingui porta i finestres obertes. I en la mesura del possible, obrir les finestres de les escales ajudarà a millorar la ventilació.

Seria recomanable disposar d'un o dos sensors de  $\text{CO}_2$  per tal de controlar els nivells en les aules més plenes i amb més activitat. Això permetria acabar d'ajustar els temps determinats en aquest experiment fent mesures complementàries per tenir més estadística i més casos d'estudi. Algunes d'aquestes mesures complementàries podrien ser col·locar el sensor en llocs diferents de l'aula per comprovar que la ventilació és uniforme en tot el volum.

És important llegir atentament la guia del CSIC [2] en què es basa aquest estudi, ja que en ella s'expliquen les limitacions del mètode. I tal com es diu en ella, aquest estudi ha de servir únicament d'orientació, mai com a llibre d'instruccions. És a més important tenir present que donades les variacions de concentració al llarg del dia és raonable assumir desviacions de fins a un 20%.



## Referències

[1] <https://aranet.com/product/aranet4-sensor/>

[2] [https://www.ciencia.gob.es/stfls/MICINN/Ministerio/FICHEROS/guia\\_para\\_ventilacion\\_en\\_aulas\\_csic.pdf](https://www.ciencia.gob.es/stfls/MICINN/Ministerio/FICHEROS/guia_para_ventilacion_en_aulas_csic.pdf)